

## **Bodenbearbeitungstechnik**

Thomas Herlitzius, André Grosa, Martin Hengst, Matthias Przybyla

### **Kurzfassung**

Die Landwirtschaft ist weiterhin breit in der öffentlichen und politischen Diskussion, der Pflanzenschutzmitteleinsatz soll reduziert, der Düngereinsatz effizienter (emissionsfrei und ohne Nährstoffverluste) sowie Treibhausgasemissionen des Bodens vermieden werden [1]. Dabei nimmt die Bodenbearbeitung eine zentrale Stellung ein. Entwicklungsziele für die Bodenbearbeitungstechnik sind die mechanische Unkrautbekämpfung und zielgerichtetes Ernterest- und Zwischenfruchtmanagement. Ein sichtbarer Trend ist hier die Entwicklung von Geräten für die exakte, sehr flache (sog. ultraflache) Bodenbearbeitung [2]. Automatisierungslösungen werden zunehmend für Bodenbearbeitungsgeräte und -maschinen angeboten. Sie sollen die Bedienerfreundlichkeit der Technik verbessern, teilschlagspezifisches Arbeiten ermöglichen und bodenspezifische Daten für digitale Farmmanagementsysteme erfassen. Die deutschen Hersteller von Bodenbearbeitungstechnik verzeichneten 2019 stagnierende Umsätze bei weiterhin hohen Exportanteilen.

### **Schlüsselwörter**

Bodenbearbeitung, Bodenbearbeitungstechnik, mechanische Unkrautbekämpfung, Feldroboter

## **Tillage**

Thomas Herlitzius, André Grosa, Martin Hengst, Matthias Przybyla

### **Abstract**

Agriculture remains broad in public and political discussion. The use of pesticides should be reduced, the use of fertilizers should become more efficient (emission-free and without nutrient discharges) and greenhouse gases should not be emitted from the soil [1]. In this context, tillage plays a crucial role. Development goals for soil tillage technology are mechanical weed control and specific crop residue and intertillage management. A visible trend is the development of devices for exact and very flat (so-called ultra-flat) tillage [2]. Automation solutions are increasingly being offered for tillage equipment and machines. They are intended to improve the user-friendliness of the technology, enable site-specific work and document soil-specific data for digital farm management systems. The German manufacturers of tillage technology recorded stagnating sales in 2019 at continuing high export shares.

### **Keywords**

Tillage, tillage technology, mechanical weed control, field robotics

## **Allgemeine Entwicklung**

Die öffentliche und politische Diskussion über die Landwirtschaft betrifft direkt die Bodenbearbeitung sowie unmittelbar vor- und nachgelagerte Arbeitsprozesse. Die Investitionsbereitschaft der Landwirtschaftsunternehmen wird jedoch maßgeblich von der Einkommenssituation und den aktuellen Rahmenbedingungen bestimmt. Hier gibt es aktuell erhebliche Unsicherheiten. Gründe sind regionale, trockenheitsbasierte Ernteaufschläge, in Mittel- und Osteuropa seit zwei Jahren, aber auch neue Situationen für den internationalen Agrarhandel (Sanktionen und Ausfuhrbeschränkungen) [3; 4].

Die klimatischen Randbedingungen zwingen den Landwirt unmittelbar zum Handeln, die Bodenbearbeitung steht hier im Zentrum (Wasserhaushalt-Verdunstungsschutz, mechanische Unkrautbekämpfung). Aus diesen Randbedingungen resultieren z. T. Zielkonflikte für heutige Verfahren. Geänderte Einsatzstrategien mit bekannter Technik werden den Anforderungen nicht mehr gerecht. Neue Verfahren und/oder technische Lösungen sind erforderlich. Dies wird seitens der Hersteller als Entwicklungsziel gesehen: die Stickstofffixierung im Boden, das Anregen des Bodenlebens, eine emissionsarme Düngung, insbesondere organisch [5]. Hier fehlen zum großen Teil anwendungsbereite Forschungsgrundlagen. Ein Ansatz ist, Erfahrungen und Technikkomponenten aus den Bereichen der konventionellen und der Biolandwirtschaft zu kombinieren. Dieses „Experimentierfeld“ wurde seitens der Hersteller mit zahlreichen Techniklösungen eröffnet. Gerätehersteller führten zu diesem Ansatz z. B. die Begriffe Fusion Farming (Einböck, A) oder Hybridlandwirtschaft (Horsch, D) ein [6].

Dabei ist die Reduzierung der chemischen Pflanzenschutzmaßnahmen (PSM) weiterhin wichtiges Thema mit dem direkten Einfluss der Bodenbearbeitung und Fruchtfolgegestaltung. Am Beispiel der Diskussion um das Herbizid Glyphosat zeigen sich national und EU-weit unterschiedliche Situationen. So haben die EU-Mitgliedsstaaten eine Zulassung bis 12/2022 beschlossen, das österreichische Parlament beschloss im Juli 2019 ein Verbot. Das Nachbarland hatte bereits 2017 mit acht weiteren EU-Staaten gegen die weitere Zulassung des Wirkstoffes gestimmt [7]. Aktuell ist ungewiss, ob auf nationaler Ebene Sonderregelungen durchgesetzt werden. Vor diesem Hintergrund mahnen Verbände Verlässlichkeit und Langfristigkeit für agrarpolitische Entscheidungen in Europa und Deutschland an [8].

Der VDMA rechnet 2019 im Landmaschinen Sektor allgemein, nach zwei Rekordjahren (Umsatzsteigerungen > 10 %), mit einer konjunkturellen Stagnation und einem Umsatzrückgang für Landtechnik von ca. 3 % [9]. Dennoch haben die Landwirte Mitteleuropas weiterhin kurz- und mittelfristige Investitionsvorhaben auf stabilem Niveau. Der Absatz von Bodenbearbeitungstechnik ist generell von den Schwankungen unterdurchschnittlich betroffen. Zum einen, da die Geräte besonders hohem Verschleiß und damit Austauschfristen unterliegen zum anderen, weil eine Verringerung chemischer PSM-Maßnahmen aktuell zu einem Mehraufwand bei der Bodenbearbeitung führt [6].

## **Geräte und Werkzeuge für sehr flache Bodenbearbeitung**

Die Zielstellung, bei der Stoppelbearbeitung Unkrautsamen, Ausfallgetreide und Erntereste zur Unkrautbekämpfung und Rotteförderung nur sehr flach einzuarbeiten und dabei auch Wurzeln und Kapillaren ganzflächig zu durchtrennen, führte zu Gerätekonzepten und Werkzeugen für die sogenannte ultraflache Bodenbearbeitung [2]. Diesem Trend folgen nahezu alle Hersteller und bieten für diesen Einsatzfall mit neuen Baureihen, Werkzeugkonzepten oder optimierten Geräteeinstellungen (z. B. Arbeitstiefe, Werkzeuganstellung) Techniklösungen an. Sie lassen sich hinsichtlich der Hauptwerkzeuge in scheiben-, schar- und striegelbasierte Systeme einteilen. Optional ergänzen vor- und nachgelagerte Werkzeugsätze wie gewohnt die Hauptfunktionalität z. B. mit Nivellierung, Verbesserung der Strohverteilung oder Rückverdichtung [10].

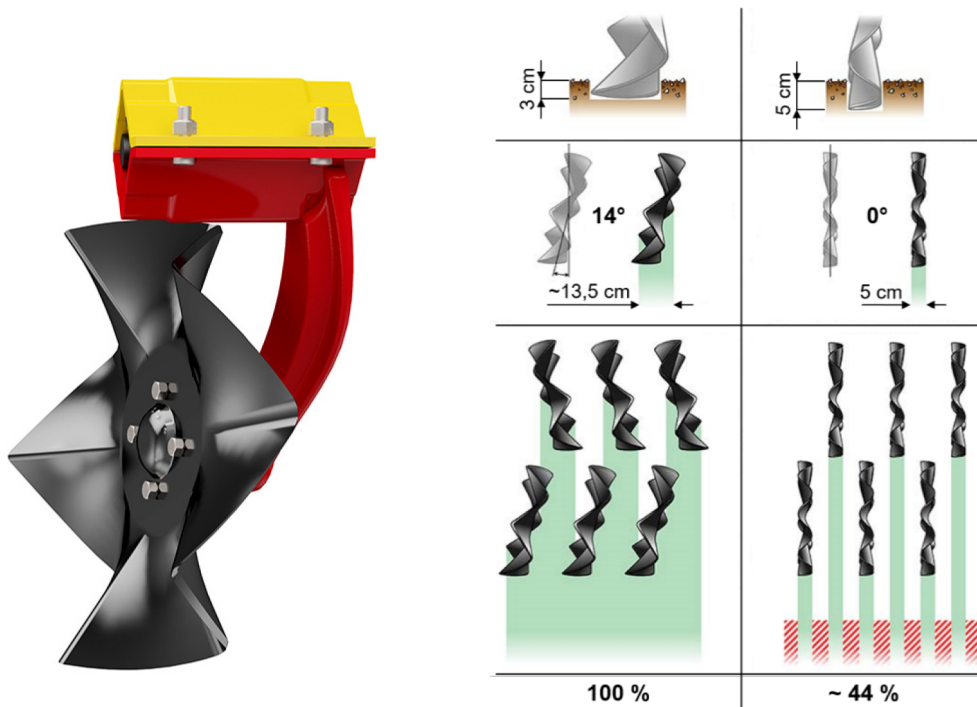
Weiterhin werden für nahezu alle Produktreihen Auf- oder Anbaubehälter zum Speichern und Dosieren von Zwischenfruchtsaatgut angeboten. Die Applikation erfolgt über Säschienen oder Einzelprallverteiler im Werkzeugbereich oder vor der Rückverdichtung.

### *Geräte mit Scheiben-Werkzeugen*

Scheibenwerkzeuge wirken längs- (in Fahrtrichtung) schneidend oder mischend und benötigen auch bei hohen Arbeitsgeschwindigkeiten > 12 km/h wenig Zugkraft. Sie arbeiten funktionsicher und verstopfungsfrei. Grenzen liegen im Eindringverhalten bei schweren, trockenen Böden sowie dem ganzflächigen Durchtrennen der Bearbeitungssohle. Mit Scheibendurchmessern von 40 bis ca. 70 cm und Werkzeugabständen von ca. 25 cm werden mit doppelreihiger Anordnung Strichabstände von ca. 12,5 cm erreicht. Die mögliche Arbeitstiefe und die Einarbeitungskapazität für Pflanzenmaterial steigen proportional mit dem Scheibendurchmesser und liegen zwischen 2,5 und 15 cm.

Der schwedische Hersteller Väderstad begründete 1999 die breite Etablierung der Kurzscheibeneggen mit dem Carrier-Konzept. Seither wurde das System von zahlreichen Herstellern mit verschiedenen Scheibenformen, -größen und -anstellungen, aber auch mit zusätzlichen vor- oder nachgelagerten Werkzeugen für verschiedene Arbeitsziele angepasst. 2014 stellte Väderstad Lösungen zum Schneiden in Quer- und Längsrichtung mit verschiedenen Werkzeugen (CrossCutter Disc/Cross Cutter Knife) vor (Jahrbuch 2014).

Eine Besonderheit der Väderstad-Werkzeugscheibenphilosophie liegt in den geraden, nicht gewölbten Scheibenrücken. Dies reduziert den Werkzeugverschleiß am Scheibenrücken, die Winkelverhältnisse für den Bodeneingriff ändern sich auch beim Durchmesserrückgang (Standardscheibendurchmesser 45 cm) nicht. 2019 stellt Väderstad eine Scheibenlösung mit ausgestellter, polygonaler, durchgehender Schneide vor, die eine Wirkbreite von 11,5 cm besitzt (**Bild 1**). Im Gerät schräg, im Winkel von 14° angestellt, wird nach Herstellerangaben eine ganzflächige Bearbeitung möglich. Durch Schrägstellung erreicht die Polygonschneide eine abscherende Wirkung in der Bearbeitungssohle. Damit können Kapillaren und Wurzeln durchtrennt werden. Über das Eindringverhalten, Verstopfungs-, und Verschleißverhalten liegen noch keine Erfahrungen vor [11; 12].



**Bild 1:** Väderstad CrossCutter Disc-Konzept [12] (Foto: Werkbild Väderstad)

**Figure 1:** Väderstad CrossCutter Disc-concept [12] (photo: Väderstad)

Nahezu alle großen Bodenbearbeitungstechnikhersteller entwickelten ihre Kurzscheibeneggen-Baureihen weiter. Trends sind hier neben den schweren Baureihen mit großen Scheibendurchmessern  $> 60$  cm auch die symmetrische Anordnung der Werkzeuge zur Verhinderung von Seitenzug im Gerät (z. B. Lemken Rubin 10, Kerner Helix, Väderstad Carrier) [11; 13 bis 15].

#### *Geräte mit Messer-Werkzeugen*

Zur intensiveren Zerkleinerung von Pflanzenresten und Stoppeln oder Zwischenfruchtbeständen mittels Schneiden quer zur Fahrtrichtung werden von zahlreichen Herstellern Messerwalzen angeboten. Sie sind als separates Gerät für den Front- oder Heckanbau in 3-6 (-12) m Arbeitsbreite konzipiert. Die Systeme sind optional auch als vorlaufende Werkzeuge in Kurzscheibeneggen, Striegeln oder Flachgubbern integriert (z. B. Köckerling Allrounder-flatline, Väderstad Carrier) [15; 16]. Die Messerwalzen haben Durchmesser von ca. 40 cm und sind dabei mit 6-8 Einzelwerkzeugen bestückt. Ziel ist, möglichst kreuzende Schnitte für eine vollständige und gleichmäßige Gutzerkleinerung zu erzeugen. Dies erfolgt durch Kombination von Scheiben und Messern (z. B. Kerner X-Cut-Solo) [17] oder mit gegenläufiger Wendung der Messer (z. B. Horsch Cultro) [18]. Werden die Geräte als Sologerät gefahren, können sie mit nachlaufenden Striegeln oder Walzen kombiniert werden.

#### *Geräte mit Zinken-Werkzeugen*

Seit dem Etablieren der konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren vor ca. 20 Jahren bewähren sich Kombinationen von Scheiben (Vorschneiden) und Zinken (Lockern und Mischen)

in Bodenbearbeitungsgeräten: die so genannten Mulchgrubber. In der Anfangszeit für mittlere Arbeitstiefen entwickelt, steht heute für die mechanische Unkrautbekämpfung flache und ganzflächige Arbeitsweise als Anforderung. Daraus erwächst die technische Herausforderung, bei Arbeitstiefen von ca. 3 cm auch bei unebenen Flächen (z. B. Drillspuren/Fahrspuren) ganzflächig und funktionssicher zu schneiden. Voraussetzung war zunächst die exakte Tiefenführung der Zinken mit separaten Stützrädern nahe dem Werkzeugfeld quer und längs zur Fahrtrichtung. Dazu kommt die exakte Einstellung der vor- und nachlaufenden Werkzeuge. Es werden seit etwa zehn Jahren Lösungen angeboten, die in vorangegangenen Jahrbüchern vorgestellt und diskutiert wurden.

Nahezu alle bekannten Hersteller bieten nunmehr Gerätebaureihen für dieses Arbeitsziel: funktionssicher, sehr flach (ab 3 cm), ganzflächig und wahlweise ohne Rückverdichtung arbeitend. Sie werden aktuell auch unter der Bezeichnung Leicht- oder Flachgrubber von zahlreichen Herstellern angeboten. Dies sind bereits bekannte und auf die Anforderungen hinsichtlich Tiefenführung, Werkzeuganordnung, Einzugs-/Wiedereinzugsvermögen optimierte Geräte oder auch Neuentwicklungen. Sie basieren auf bekannten Werkzeugkonfigurationen mit Scheiben, Zinken, Nivellatoren-Einebnungswerkzeugen sowie im Nachlauf wahlweise/optional Walzensystemen oder Striegelzinken.

Güttler verfolgt mit dem SuperMaxx ein reines Zinkenkonzept [19]. In bis zu 7-balkiger Ausführung ermöglicht die Werkzeuganordnung mit 15 cm Gänsefußscharen einen ganzflächigen Schnitt. Große Werkzeugabstände von ca. 80 cm ermöglichen den Materialdurchgang bei kleinen Strichabständen von 13 cm. Die Tiefenführung erfolgt ausschließlich über zwei vorlaufende Stützräder je Werkzeugfeld an der ersten Grubbertraverse.

Vorlaufende Scheibenwerkzeuge wie bei einer Kurzscheibenegge schneiden Bewuchs, Stopeln und zähe Pflanzenreste und schlitzen den Boden vor. Damit werden die Gefahr der Verstopfungen durch niedrige Rahmenhöhen minimiert, das Einzugsverhalten der horizontal schneidenden Gänsefußschare verbessert und bei Fahrspuren das sichere Wiedereinziehen der Zinkenwerkzeuge ermöglicht. Rahmenhöhen bei 70 cm, Strichabstände zwischen 13 und 30 cm mit Zinkenarrangements auf 3 bis 6 Balken sind üblich.

Ein Beispiel für eine 3-balkige Anordnung von breiten Gänsefußscharen (Schnittbreite 35 cm, Strichabstand 30 cm) und vorlaufenden, zweireihigen Scheibenwerkzeugen ist der sogenannte Hybrid-Grubber Lemken Koralin (**Bild 2**) [20; 21]. Er wurde auf der Agritechnica vorgestellt und ist zunächst mit Arbeitsbreiten von 6,6 bzw. 8,4 m verfügbar. Als nachlaufende Werkzeuge können die Tandemstabwalzen gegen Striegelfelder getauscht werden. Der österreichische Hersteller Regent erweiterte seine Leichtgrubberbaureihe Terrakan mit Zusatzoptionen für den Einsatz in Biobetrieben oder für reduzierten PSM-Einsatz. So werden nunmehr Versionen mit 6-balkiger Zinkenarrangements angeboten, als Vorwerkzeuge mit 1-reihigen Wellscheiben, als nachlaufende Werkzeuge optional mit Striegelzinken [22].



**Bild 2:** Zinken-Scheiben-Grubberkombination Lemken Koralin [20] (Foto: Lemken)

**Figure 2:** Hybrid-Cultivator Lemken Koralin [20] (photo: Lemken)

Eine Möglichkeit, trotz unterschiedlicher Arbeitswiderstände am Federzinken mit Gänsefußscharen einen gleichmäßigen, flachen Schnitt zu erreichen, stellte Horsch mit dem leichten Grubber Finer SL auf der Agritechnica vor (**Bild 3**) [23]. Hier werden erstmals, wie bisher nur von Striegeln bekannt, alle 5 Balken parallel mit einer Parallelogrammkinematik verdreht, um den Anstellwinkel der Zinken und damit auch die „Vorspannung“ der Federstiele einzustellen. Auch bei schweren Böden oder starken Pflanzenwurzeln soll bei starker Vorspannung ein sicheres, flaches Schneiden möglich sein. Der Federzinkengrubber hat einen Strichabstand von 15 cm, eine Rahmenhöhe von 55 cm und wird in Arbeitsbreiten von 6-12 m angeboten. Ein nachlaufender, 2-balkiger Striegel „kämmt“ die Unkrautpflanzen zum Abtrocknen aus dem Boden. Zielkunden sind Biobetriebe oder Landwirte, die konsequent nach Möglichkeiten für die mechanische Unkrautbekämpfung (sog. Hybridlandwirtschaft) suchen.





**Bild 3:** Grubber mit variabler Zinkenanstellung, Horsch Finer [23] (Foto: Horsch)

**Figure 3:** Cultivator with variable tillage tools, HorschFiner [23] (photo: Horsch)

### *Striegeltechnik*

Eine zunehmende Anzahl von Herstellern hat nunmehr Striegel im Sortiment. Die leichten Geräte zur ganzflächigen Unkrautbekämpfung vor oder nach Auflauf der Hauptkultur erreichen heute Arbeitsbreiten bis 15 m. Die Zinken als Torsionsfederstäbe sind auf 6-8 Balken angeordnet, haben mit Drahtdurchmessern von (5), 6-8, (10) mm Rahmenhöhen von 30-55 cm. Die Einstellung der Zinkenvorspannung wird traditionell über Verdrehen aller Zinkentraversen (Parallelogramm) oder über Zugfedersysteme (untenliegend: Treffler Exaktstriegel; obenliegend Horsch Cura, integriert: APV Variostriegel VS) realisiert und ermöglicht Zinkendrucke bis ca. 60 N, bei großen Drahtdurchmessern bis zu 100 N an der Spitze [24]. Zur mechanischen Unkrautbekämpfung im Vor- und Nachauflauf werden geringere Kräfte an der Zinkenspitze (Zinkendrucke) von ca. 5 (leichte Böden) bis 30 N (bindige Böden) benötigt.

Torsionsfederzinken haben bei zunehmender Auslenkung eine progressiv steigende Kraftkennlinie. Die in den letzten Jahren entwickelten Zugfedersysteme sind zwar aufwändiger gebaut, erreichen aber nahezu konstante Kennlinien, d. h. unabhängig von der Auslenkung der Zinkenspitze bleibt die Kraft an der Zinkenspitze nahezu konstant. Der österreichische Hersteller Einböck, als „Striegel-Pionier“, stellte auf der Agritechnica das System Smart Control für die konventionellen Aerostar Exakt Striegel als Arbeitstiefenregelung für die einzelnen Werkzeugfelder im Striegel vor (**Bild 4**) [25]. Dabei erfasst ein Bodenabstandssensor vor der Bearbeitung den Abstand zur Bodenoberfläche, ein weiterer Sensor misst die Verformung des Striegelzinkens im Werkzeugfeld. Im Steuergerät wird der Arbeitstiefenwert mit dem Wert der

Zinkenverformung (unterschiedliche Verformung bei schwerem und leichtem Boden) abgeglichen und über je einen Hydraulikzylinder als Aktor wird die Parallelogramm-Kinematik für die einzelnen Werkzeugfelder nachgeführt (Bild 4). Die Firma Hatzenbichler stellte mit dem Air-Flow System eine Lösung vor, die mittels Pneumatik Zylindern an jedem einzelnen Striegelzinken die Zinkenspannung in einem weiten Bereich einstellbar macht. Das System wird von der Druckluftanlage des Traktors versorgt und ermöglicht stufenlos einstellbare Zinkendrucke an der Spitze im Bereich 5-50 N [26].



**Bild 4:** Striegel mit automatischer Arbeitstiefenregelung im Werkzeugfeld, Einböck Aerostar Exakt [25] (Foto: Einböck, A)

**Figure 4:** Tined weeder with toolbar - working depth control, Einböck Aerostar Exakt [25] (photo: Einböck, AT)

## Grundbodenbearbeitung

In Segment der Pflugtechnik wurden Automatisierungslösungen vorgestellt, die eine bessere Handhabung und Einstellung der komplexen Funktionen am Pflug ermöglichen. Kuhn entwickelte das Smart Ploughing für die Anbaupflüge Vari-Master weiter, dessen Kernfunktion, das separate Ausheben einzelner Körper, bereits 2017 vorgestellt wurde. Es ist nun in drei Ausbaustufen mit verschiedenen Funktionsumfängen verfügbar. Mit der Basisversion 1 (Smart Ploughing) können alle Einstellparameter des Pfluges (z. B. Schnittbreite, Zugpunkt, Arbeitstiefe) am ISOBUS-Terminal eingestellt werden. Stufe 2 (Smart Ploughing Lift) ermöglicht die bereits 2017 vorgestellte Einzelaushebefunktion der Körper (Sektion Control), dies ist nunmehr



GPS-gesteuert möglich. Auch ein manuelles Ausheben der Körper ist möglich. So kann beispielsweise bergan der letzte Körper ausgehoben werden, der Zugkraftbedarf wird dem Traktorzugvermögen angepasst. Stufe 3 (Smart Ploughing Line) ermöglicht auch die Schnittbreitenregelung per GPS nach automatisch vorausberechneten Furchenlinien. Ungleichmäßig geschnittene Felder oder Hindernisumfahrungen können so ohne Teilarbeitsstreifen und zusätzlichen Wendevorgänge im Schlag bearbeitet werden, die Arbeitsqualität steigt. Die automatische Pflugdrehung am Vorgewende beginnt, sobald alle Körper ausgehoben sind, das Betätigen von Steuergeräten entfällt [27]. Weitere Entwicklungen zielen auf Funktionsverbesserungen. So stellte Kverneland eine neue Generation der Variomat Drehpflüge mit hohen Grindeln und Rahmen (Aero-Profil, 80 cm Rahmenhöhe) für besseren Materialdurchgang bei hohem Bewuchs vor.

Grubber haben bei großen Arbeitsbreiten zur Grundbodenbearbeitung einen hohen Zugkraftbedarf an der Leistungsgrenze des Traktors. Die hydraulische Einstellung der Arbeitstiefe von der Traktorkabine aus ist mittlerweile Standard. Kverneland stellte einen „ISOBUS-Grubber“ vor. Nach Herstellerangaben kann beim Turbo T i-Tiller direkt über das ISOBUS-Terminal die Einstellung der Arbeitstiefe und der Nivellierwerkzeuge, auch dynamisch, während der Arbeitsfahrt vorgenommen werden. Das System ist mit der bekannten Lösung der sog. Traktionsverstärkung kombiniert. Das Überlastsicherungssystem „AutoProtect“ reagiert auf Überlastungen der Maschine durch Hindernisse oder Querkräfte. Dieses System hebt den Turbo T i-Tiller an, wenn Zug- oder Scherkräfte einen definierten Wert überschreiten [28].

Amazone stellte den Cenius-2TX ZoneFinder vor, ein System, welches kleinräumige Bodenunterschiede auf Basis einer Zugkraftmessung identifizieren kann. Die Daten werden mit dem Telemetriemodul „exatrek“ inklusive Datenlogger beim Grubbern erfasst. Die Gerätedaten wie Arbeitstiefe und Hangneigung und Prozessdaten wie Fahrgeschwindigkeit, Zugkraft, Kraftstoffverbrauch und Schlupf werden dann in die exatrek-Cloud übertragen. Damit können im post process z. B. Bodendichtekarten erstellt und in digitalen Schlagkarteien genutzt werden [29]. Zur Applikation von Dünger und/oder Zwischenfruchtsaatgut bei der Bodenbearbeitung können separate Anbaubehälter, bisher aus Fronttankdrillmaschinen bekannt, auch bei der Grubberarbeit genutzt werden. Hier bietet Amazone Tanksysteme verschiedener Größen für den Front- oder Heckanbau als 1- und 2-Kammersystem an. Die XTender 2200 und 4200 (2200/4200 l Tankvolumen) sind ISOBUS-kompatibel und können z. B. mit dem Grubber Cenius-TX Grunddünger in verschiedenen Tiefen ablegen [30].

### **Hochautomatisierte Systeme in der Bodenbearbeitung – Technik und Forschung**

Der Trend zu einer vorschreitenden Geräteautomatisierung ist auch im Bereich der Bodenbearbeitung und der mechanischen Beikrautregulierung weiterhin ungebrochen. Die vorgestellten Lösungen erstrecken sich von der Automatisierung einzelner Teilprozesse bis hin zur vollständigen Autonomie des Gesamtverfahrens mittels spezieller Robotiklösungen.

Bei der mechanischen Beikrautregulierung wird in der Regel deutlich weniger Zugkraft benötigt, als es für die klassische Bodenbearbeitung der Fall ist. Aus diesem Grund ist dieser Bereich besonders für den Einsatz von Robotiklösungen prädestiniert. Diese meist kleinen und leichten Maschinen verfügen häufig über alternative Antriebslösungen, beispielsweise

elektrisch mittels Akku und/oder Solarzellen, und weisen eine geringe Eigenmasse auf. Damit kann ein Beitrag zur Reduzierung der Bodenverdichtung geleistet werden, was sich positiv auf den Pflanzenertrag auswirkt [31].

Ein besonders kompaktes System ist der „Contadino“ von Continental (**Bild 5a**). Er verfügt über einen modularen Aufbau, mit dem verschiedenste Aufgaben realisiert werden können. Mit ihm sollen Arbeiten wie Säen, Beikrautregulierung, Schädlingsbekämpfung, Düngen und Bonitur möglich sein. Continental entwickelt im ersten Schritt die Trägerplattform. Wie die Geräteschnittstellen und dazugehörige Prozessautomatisierung gestaltet wird, wurde noch nicht offengelegt. Das umfangreiche Sensorsystem soll einen autonomen Betrieb mit höchsten Sicherheitsstandards erlauben. Zudem kann das Sensor-Setup entsprechend der Arbeitsaufgabe variiert werden. Das Maschinensystem befindet sich momentan in der Entwicklung, erste Testanwendungen sind für 2020 geplant. [32]



**Bild 5:** Autonome Robotersysteme; a) Modulares Robotersystem „Contadino“ von Continental [33] (Foto: Continental); b) Pflegeroboter „DINO“ von Naïo Technologies [34] (Foto: Naïo Technologies)  
**Figure 5:** Autonomous robot systems; a) "Contadino" modular robot system from Continental [33] (photo: Continental); b) "DINO" weeding robot from Naïo Technologies [34] (photo: Naïo Technologies)

Ein weiteres, deutlich größeres Maschinenkonzept ist der „DINO“ der französischen Firma Naïo Technologies (**Bild 5b**). Er verfügt über einen elektrischen Antrieb per Lithium Akku, welcher eine Arbeitszeit von bis zu 8 Stunden ermöglichen soll. Die Gesamtmasse beträgt 800 kg. Dieses System beschränkt sich auf das Beikrautmanagement vorwiegend von Hackfrüchten, dabei kann die Arbeitsbreite in einem Bereich von 1,2-1,6 m variiert werden. [35] Das System ist seit 2017 am Markt verfügbar [36].

Die Automatisierungslösungen bei der Bodenbearbeitung geben, im Gegensatz zu den Systemen der Pflanzenpflege, ein anderes Bild wieder. Hier werden Maschinenkonzepte verfolgt, die sich in Abmessung und Schlagkraft näher an konventionellen Systemen orientieren und auf diese Weise den Anforderungen an die erforderliche Zugkraft gerecht werden. Wurden in der Vergangenheit häufig Lösungen vorgestellt, die auf automatisierten und/oder modifizierten Traktoren beruhten [37], so geht ein neuer Trend zu alternativen Maschinenkonzepten.

Ein Beispiel dafür ist der „Joker“ [38] von John Deere (**Bild 6**). Diese vollelektrische Studie (gefördert durch das Projekt „Feldschwarm“<sup>®</sup>) basiert auf den Erfahrungen des Projektes „GridCON“ und verfügt über eine Gesamtleistung von 500 kW. Davon stehen 250 kW für den reinen Fahrtrieb und nochmals 250 kW für Hydraulik und Zusatzantriebe zur Verfügung. Die Energieversorgung erfolgt über ein spezielles Verteilungssystem. Für das System steht ein umfangreiches Konfigurations- und Ballastierungskonzept zur Verfügung. So kann die Traktionseinheit wahlweise mit Radfahrwerk oder Gleisband ausgestattet werden. Weiterhin können abhängig davon Einsatzgewichte von ca. 5-11,8 t (mit Radfahrwerk) oder 7,5-15 t (mit Gleisband) realisiert werden. Erste Feldversuche sind mit einer Scheibenegge (6,25 m Arbeitsbreite) erfolgt [39].



**Bild 6:** John Deere Konzept „Joker“ im Feldeinsatz [38]

**Figure 6:** John Deere concept "Joker" in field test [38]

Ein zweiter Konzeptgedanke wird ebenfalls im Projekt Feldschwarm<sup>®</sup> verfolgt. Entgegen dem allgemeinen Trend zu größeren Maschinen und mehr Antriebsleistung wird eine Lösung untersucht, bei der Einheiten mit je 3 m Arbeitsbreite Bodenbearbeitung durchführen. Die erforderliche Schlagkraft kann bei Bedarf durch die Anzahl der Einheiten erhöht werden, die in einem homogenen oder heterogenen Schwarm zusammenarbeiten (**Bild 7**). Dabei wird ein kollaborativer Systemgedanke verfolgt, bei dem der Bediener, im Gegensatz zur Vollautomatisierung, Teil des Maschinenverbundes, beispielsweise als Fahrer einer traktorgebundenen Einheit, ist [40].



**Bild 7:** Visualisierung des Feldschwarms bestehend aus zwei autonomen und einer traktorgebundenen Einheit [41]

**Figure 7:** Visualization of the field swarm consisting of two autonomous and one tractor-attached unit [41]

Der erste Anwendungsfall der Feldschwarmtechnologie ist für die leichte und mittelschwere Bodenbearbeitung vorgesehen. Um die Auslastung der Grundmaschine zu steigern, bieten sich weitere Einsatzfälle (Pflege, Futter, Ernte, Feldtransport...) an. Auf diese Weise kann eine jährliche Gesamtnutzungszeit der nicht prozessspezifischen Module vergleichbar zu konventionellen Traktoren erreicht werden. Erste Versuche sind für 2020 geplant.

### **Zusammenfassung**

Die Entwicklungen in der Bodenbearbeitungstechnik werden, neben der Forderung einer hohen Produktivität/Wirtschaftlichkeit, dem Erhalt/Erreichen eines intakten Bodengefüges und den Herausforderungen eines sich verändernden Klimas, maßgeblich von den Anforderungen von Politik und Verbraucher geprägt [42]. So werden Geräte und Verfahren beispielsweise hinsichtlich des Nährstoffeintrages in die Umwelt, der Reduzierung des Einsatzes von chemischen Pflanzenschutzmitteln und der Reduzierung der Bodenerosion optimiert. Darüber hinaus halten Automatisierungslösungen auf dem gesamten Gebiet der Bodenbearbeitungstechnik Einzug. Besonders im Bereich des mechanischen Beikrautmanagements wird an hochautomatisierten Systemen gearbeitet, die einzelne Arbeitsschritte oder die gesamte Arbeitsaufgabe ohne Eingriff eines Bedieners ausführen.



## **Literatur**

- [1] Blum, W. E. H.: Boden als Grundlage globaler Nutzung. In: Blum, W. E. H. (Hrsg.): Boden und globaler Wandel. Berlin, Heidelberg: Springer, 2019. S. 41-51.
- [2] Wiethoff, J.; Heier L. und Maas L.: Concept of a new cultivator generation, reducing of wear costs with a combination of vertical and horizontal tools. VDI-Berichte Nr. 2361, 2019.
- [3] N.N.: OECD Bericht, Internationale Agrarentwicklung, Kap. 7, S. 216-236.
- [4] Batisweiler, C.: Globale Landwirtschaft. Eilbote Nr. 51-52/2019, S. 12-16.
- [5] Osterburg, B. et al.: Folgenabschätzung für Maßnahmenoptionen im Bereich Landwirtschaft und landwirtschaftliche Landnutzung, Forstwirtschaft und Holznutzung zur Umsetzung des Klimaschutzplans 2050 - Thünen Working Paper 137.
- [6] N.N.: Horsch - Höchsten Umsatz der Firmengeschichte erreicht, Eilbote Nr. 15/2019, S. 18.
- [7] N.N.: Glyphosatverbot in Österreich. Eilbote Nr. 28/2019, S. 9.
- [8] N.N.: Stimmung bei Landwirten bleibt verhalten. Eilbote Nr. 29/2019, S. 6f.
- [9] N.N.: Globale Landtechnik-Konjunktur: Abkühlung, aber kein Weltuntergang. URL – <https://lt.vdma.org/viewer/> - Zugriff am 03.02.2020.
- [10] Demmel, M.: Trendreport - Herausforderungen an die Technik steigen. Eilbote Nr. 44/2019, S. 14-16.
- [11] N.N.: Neue Väderstad CrossCutter Disc XL für Scheibenegge Carrier XL. URL – <https://www.vaderstad.com/de/produkte/crosscutter-disc/> - Zugriff am 10.07.2019.
- [12] N.N.: CrossCutter Disc. URL – <https://www.vaderstad.com/de/produkte/crosscutter-disc/> - Zugriff am 05.02.2020.
- [13] N.N.: Rubin 10. URL – <https://lemken.com/de/bodenbearbeitung/stoppelbearbeitung/kurzscheibenegge/rubin-10/> - Zugriff am 12.02.2020.
- [14] N.N.: Kurzscheibenegge Helix. URL – <https://www.kerner-maschinenbau.de/produkte/kurzscheibenegge/helix/> - Zugriff am 12.02.2020.
- [15] Deter, A.: Fahrbericht Väderstad Carrier XL. topagrar online, 30.08.2017.
- [16] N.N.: Allrounder-flatline - Der Präzisionsgrubber mit Konturanpassung. URL – <https://www.koeckerling.de/produkte/bodenbearbeitung/grubber/allrounder-flatline> - Zugriff am 12.02.2020.
- [17] N.N.: X-CUT SOLO. URL – <https://www.kerner-maschinenbau.de/produkte/restpflanzenzerkleinerung/x-cut/> - Zugriff am 12.02.2020.
- [18] N.N.: Allrounder-classic - Der leichtzügige Feingrubber. URL – <https://www.koeckerling.de/produkte/bodenbearbeitung/grubber/allrounder-classic> - Zugriff am 08.02.2019.
- [19] N.N.: GROSSFEDERZAHNEGGE: Super Maxx® BIO. URL – <http://guttler.org/grossfederzahnegge-supermaxx-bio> - Zugriff am 12.02.2020.
- [20] N.N.: Ultraflach mit Scheiben und Zinken. URL – <https://lemken.com/de/lemken-aktuell/news/detail/detail/ultraflach-mit-scheiben-und-zinken/> - Zugriff am 12.02.2020.

- [21] N.N.: Mit rollenden Werkzeugen, Geräte für die ultraflache Bodenbearbeitung werden immer beliebter. Eilbote Nr. 45-46/ 2019, S. 38.
- [22] N.N.: Neue Schneidwalze und mehr Balken für den Regent Terrakan. URL – <https://www.landwirt-media.com/neue-schneidwalze-und-mehr-balken-fuer-den-regent-terrakan/> - Zugriff am 03.02.2020.
- [23] N.N.: Horsch News. URL – <https://www.horsch.com/news> -Zugriff am 05.02.2020.
- [24] N.N.: HORSCH stellt ersten Striegel Cura ST vor. URL – <https://www.horsch.com/news/aktuelles> - Zugriff am 08.02.2019.
- [25] N.N.: SMART-CONTROL. URL – <https://www.einboeck.at/newsroom/news/newsdetail/news/smart-control> - Zugriff am 12.02.2020.
- [26] N.N.: Der Hatzenbichler "Air-Flow-Original-Striegel". URL – <https://www.hatzenbichler.com/de/air-flow-original-striegel> - Zugriff am 12.02.2020.
- [27] N.N.: Kuhn - Pflüge über GPS gesteuert. Eilbote Nr. 44/2019, S. 38.
- [28] N.N.: Der Grubber für Smart Farming – Kverneland Turbo T i-Tiller. URL – <https://www.kverneland.de/News-und-Medien/Produkt-News/Der-Grubber-fuer-Smart-Farming-Kverneland-Turbo-T-i-Tiller> - Zugriff am 08.02.2020.
- [29] N.N.: Amazone stellt Bodenbearbeitungs-Neuheiten vor. URL – <https://www.landtechnikmagazin.de/artikel> - Zugriff am 08.10.2019.
- [30] N.N.: Neuer Anbaubehälter XTender 2200 von Amazone. URL – <https://www.landtechnikmagazin.de/artikel> - Zugriff am 29.07.2019.
- [31] Gaus, C.-C. et al.: Mit autonomen Landmaschinen zu neuen Pflanzenbausystemen. Bericht. Johann Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei, D-Braunschweig; Technische Universität Braunschweig, Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, D-Braunschweig; Julius Kühn-Institut., 2017. URL – <https://orgprints.org/32438/> - Zugriff am 23.02.2020.
- [32] N.N.: Back to Business: Dank dem neuen Agrarroboter von Continental können Landwirte sich wieder auf das Wesentliche konzentrieren. URL – <https://www.continental.com/de/presse/messen-events/agritechnica-2019/agrarroboter-contadino-197202> - Zugriff am 10.02.2020.
- [33] N.N.: „Ohne Sensoren keine Ernte“. URL – <https://www.continental.com/de/presse/messen-events/agritechnica-2019/interview-ruckelshausen-199602> - Zugriff am 10.02.2020.
- [34] N.N.: Dino-robot. URL – <https://www.naio-technologies.com/en/category/dino-robot/> - Zugriff am 10.02.2020.
- [35] N.N.: Dino large-scale vegetable weeding robot. URL – <https://www.naio-technologies.com/en/agricultural-equipment/large-scale-vegetable-weeding-robot/> - Zugriff am 10.02.2020.
- [35] N.N.: Naïo Technologies: Dino jätet autonom. URL – <https://www.gabot.de/ansicht/naio-technologies-dino-jaetet-autonom-396443.html> - Zugriff am 10.02.2020.

- [37] Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2018. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2019.
- [38] N.N.: John Deere dévoile le Joker, un concept autonome. URL – <https://www.farm-connexion.com/2019/09/24/john-deere-devoile-le-joker-un-concept-autonome/> - Zugriff am 10.02.2020.
- [39] Pfaffmann, S. et al.: Swarm Unit – Development of a Fully Electric Agricultural Machine with External Power Supply. VDI-Berichte Nr. 2361, 2019.
- [40] Herlitzius, T. et al.: Feldschwarm - Modular and Scalable Tillage Systems with Shared Autonomy. VDI-Berichte Nr 2361, 2019.
- [41] Lorenz, S.; Krzywinski, J. und Schreiber, C.: Feldschwarm-HMI - a semistationary user interface for operating and monitoring highly automated systems. Vortrag: LAND.TECHNIK AgEng 2019, Hannover, 09.11.2019.
- [42] Feindt, P. H. et al.: Ein neuer Gesellschaftsvertrag für eine nachhaltige Landwirtschaft: Wege zu einer integrativen Politik für den Agrarsektor. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2019.

#### **Autorendaten**

Prof. Dr.-Ing. habil. Thomas Herlitzius ist Inhaber der Professur für Agrarsystemtechnik und Direktor des Instituts für Naturstofftechnik in der Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden. Dipl.-Ing. André Grosa, Dipl.-Ing. Martin Hengst und Dipl.-Ing. (FH) Matthias Przybyla sind wissenschaftliche Mitarbeiter der Professur für Agrarsystemtechnik, Institut für Naturstofftechnik, Fakultät Maschinenwesen der Technischen Universität Dresden.

#### **Bibliografische Angaben / Bibliographic Information**

##### **Empfohlene Zitierweise / Recommended Form of Citation**

Herlitzius, Thomas; Grosa, André; Hengst, Martin; Przybyla, Matthias: Bodenbearbeitungstechnik. In: Frerichs, Ludger (Hrsg.): Jahrbuch Agrartechnik 2019. Braunschweig: Institut für mobile Maschinen und Nutzfahrzeuge, 2020. S. 1-15

##### **Zitierfähige URL / Citable URL**

<https://doi.org/10.24355/dbbs.084-202001201528-0>

##### **Link zum Beitrag / Link to Article**

<https://www.jahrbuch-agrartechnik.de/artikelansicht/jahrbuch-2019/chapter/bodenbearbeitung.html>

Dieser Beitrag wird unter einer CC-BY-NC-ND 4.0 Lizenz veröffentlicht.